

REC'D 01 AUG 2003

WIPO POT



EPO-BERLIN

10-07-2003

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 32 612.6  
**Anmeldetag:** 12. Juli 2002  
**Anmelder/Inhaber:** Atotech Deutschland GmbH,  
Berlin/DE  
**Bezeichnung:** Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung eines  
elektrolytischen Prozesses  
**IPC:** C 25 D, H 01 L, H 05 K

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-  
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 03. Juli 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

**Jerofsky**

Patentanwälte  
**Effert, Bressel und Kollegen**  
European Patent Attorneys · European Trade Mark Attorneys

. PAe Effert, Bressel und Kollegen Radickestraße 48 · 12489 Berlin .

Dipl.-Ing. Udo Effert  
Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Burkhard Bressel  
Dipl.-Ing. Volker Zucker  
Dipl.-Ing. Günter Köckeritz

Radickestr. 48  
12489 Berlin-Adlershof  
Deutschland

Telefon ++49(0)30 - 670 00 60  
Telefax ++49(0)30 - 670 00 670

Internet: [www.patentberlin.de](http://www.patentberlin.de)  
e-mail: [office@patentberlin.de](mailto:office@patentberlin.de)

12. Juli 2002

P04.951.4DE

BR

Atotech Deutschland GmbH  
Erasmusstraße 20  
10553 Berlin

---

**Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung eines elektrolytischen Pro-  
zesses**

---

## Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses

Beschreibung:

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses, insbesondere zur elektrolytischen Abscheidung von Metall auf einem Substrat.

10

Zur Herstellung von integrierten Schaltungen auf Wafern, insbesondere aus Silizium, werden im allgemeinen Ätzverfahren und Abscheideverfahren in Verbindung mit photolithographischen Prozessen angewendet. Zur Herstellung von elektrischen Leiterverbindungen auf den Wafern wurden bisher üblicherweise metallische Leiterstrukturen mittels Sputterprozessen hergestellt. Seit einigen

15

Jahren werden hierzu auch verstärkt galvanische Prozesse zur Herstellung von integrierten Schaltungen auf Wafern eingesetzt. Neben der galvanischen Abscheidung von Kupfer im sogenannten "Backend"-Bereich, d.h. zur Verdrahtung der hergestellten Halbleiterstrukturen auf dem Wafer, gewinnt auch die Metallabscheidung von Kupfer, Nickel, Gold und Zinn im sogenannten "Packaging"-

25

Bereich, d.h. bei der Abscheidung von Metall auf Chipträgern, sowie zur Umverdrahtung zunehmend an Gewicht. Allen diesen Anforderungen ist gemeinsam, dass auf einer dünnen Metall-Startschicht, der sogenannten Seedlayer, auch Platingbase genannt, ein galvanischer Metallabscheidungsprozess gestartet wird. Hierzu wird die Startschicht mittels geeigneter mechanischer Kontakte elektrisch kontaktiert und in ein galvanisches Bad gebracht, das das abzuscheidende Metall in gelöster Form enthält. Mittels einer externen Stromquelle, beispielsweise eines durch das elektrische Stromnetz gespeisten Gleichrichters, und einer Gegenelektrode wird ein Stromfluss durch die Startschicht und die Gegenelektrode erzeugt, so dass Metall auf der Startschicht des Wafers abge-

schieden wird. Dabei wird die Menge und damit die Schichtdicke des abgeschiedenen Metalls über das Faradaysche Gesetz kontrolliert.

Die Schichtdickenverteilung auf dem Wafer kann durch geeignete Blenden oder durch segmentierte Anoden (Gegenelektroden) günstig beeinflusst werden.

Dabei werden entweder lösliche Anoden eingesetzt, um die Metallionenkonzentration in der Elektrolytflüssigkeit konstant zu halten, oder alternativ unlösliche (inerte) Anoden, bei deren Verwendung der Metallionengehalt über zusätzliche Massnahmen konstant gehalten werden muss. Für den Fall der elektrolytischen Kupferabscheidung ist hierzu in DE 199 15 146 C1 angegeben, dass das Kupferabscheidebad zusätzlich zu den üblichen Bestandteilen beispielsweise Fe(III)-Verbindungen enthält und dass diese Verbindungen Kupferstücke unter Bildung von Kupferionen auflösen, wobei Fe(II)-Verbindungen entstehen. Die gebildeten Fe(II)-Verbindungen werden an den unlöslichen Anoden wieder zu Fe(III)-Verbindungen reoxidiert.

Alle bekannten galvanischen Bäder enthalten neben den abzuscheidenden Metallionen Hilfsstoffe zur Beeinflussung der Metallabscheidung. In der Regel handelt es sich hierbei zum einen um organische Verbindungen zur Beeinflussung der Struktur der abgeschiedenen Schicht und zum anderen um Salze, Säuren oder Laugen, die zur Stabilisierung und zur Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeit des Bades zugegeben werden. Dadurch wird die zur Abscheidung erforderliche Spannung reduziert und somit die Joulesche Wärmeentwicklung minimiert. Dies führt zu einer erhöhten Prozesssicherheit. Manche Prozesse werden durch Zugabe dieser Stoffe überhaupt erst ermöglicht.

Im allgemeinen werden Leiterstrukturen gegenwärtig nach dem Damaszener-Prozess hergestellt. Wie in DE 199 15 146 C1 angegeben ist, wird hierzu zunächst eine Dielektrikumsschicht auf das Halbleitersubstrat aufgebracht. Die erforderlichen Löcher (vias) und Gräben (trenches) werden zur Aufnahme der gewünschten Leiterstrukturen in die Dielektrikumsschicht geätzt, üblicherweise mit einem Trockenätzverfahren. Nach dem Aufbringen einer Diffusionsbarriere

(meist Tantalnitrid, Tantal) und einer Leitschicht (meist gesputtertes Kupfer) werden die Vertiefungen, d.h. die Löcher und Gräben, galvanisch mit dem sogenannten "trench-filling"-Prozess aufgefüllt. Da das Kupfer dabei ganzflächig abgeschieden wird, muss der Überschuss an den unerwünschten Stellen, d.h. ausserhalb der Löcher und Gräben, nachträglich wieder entfernt werden. Dies geschieht mit dem sogenannten CMP-Prozess (Chemisch-mechanisches Polieren). Durch Wiederholung des Prozesses, d.h. durch mehrmaliges Aufbringen des Dielektrikums, beispielsweise von Siliziumdioxid, Bilden der Vertiefungen durch Ätzen, und Abscheiden von Kupfer, lassen sich Mehrlagenschaltungen herstellen.

Nach der Herstellung der insbesondere aus Kupfer bestehenden Leiterstrukturen kann in zur Kontrolle angefertigten Querschliffen festgestellt werden, dass sich in den abgeschiedenen Strukturen leicht Hohlräume (voids) bilden, die zu einem Funktionsausfall der gesamten Schaltung führen können.

Der vorliegenden Erfindung liegt von daher das Problem zugrunde, die Nachteile der bekannten Vorrichtungen und Verfahren zu vermeiden und insbesondere Massnahmen zu finden, mit denen die Bildung derartiger Hohlräume sicher ausgeschlossen werden kann.

Gelöst wird dieses Problem durch die Vorrichtung nach Anspruch 1 und das Verfahren nach Anspruch 7. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung dient zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses, insbesondere des elektrolytischen Metallabscheidungsverfahrens bei der Herstellung von integrierten Schaltungen auf Halbleitersubstraten (Wafern) und von Schaltungsstrukturen auf Chipträgern.

Um die Erfindung näher zu erläutern, wird der Begriff "Wafer" nachfolgend stellvertretend auch für andere Werkstücke verwendet. Gleichfalls werden gegeb-

nenfalls auch die Begriffe "Abscheideelektrolyt" oder "Abscheideelektrolytflüssigkeit" stellvertretend für die Elektrolytflüssigkeit verwendet, die zum Betrieb des elektrolytischen Prozesses eingesetzt wird. Alternativ könnte diese Flüssigkeit auch eine Ätzflüssigkeit sein, falls der elektrolytische Prozess ein elektrolytischer Ätzprozess ist. Als elektrolytische Prozesse kommen sowohl elektrolytische Abscheidungsverfahren als auch elektrolytische Metallätzverfahren in Betracht. Grundsätzlich kann die Erfindung auch für noch andere elektrolytische Prozesse als die genannten eingesetzt werden. In der nachfolgenden Beschreibung wird stellvertretend für alle anderen elektrolytischen Prozesse der Begriff "elektrolytisches Abscheideverfahren" verwendet.

Zur Lösung des Problems werden eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitgestellt. Die Vorrichtung umfasst mindestens eine Anode und mindestens eine Kathode, die mit einer Elektrolytflüssigkeit in Kontakt stehen und zwischen denen ein elektrischer Stromfluss erzeugt wird. Mindestens eine Bezugselektrode ist an der Oberfläche der mindestens einen Anode oder der mindestens einen Kathode angeordnet. In erfindungsgemässer Weise ist ferner jeweils ein Spannungsmessgerät zur Ermittlung der elektrischen Spannungen zwischen der mindestens einen Anode und der mindestens einen Bezugselektrode und zwischen der mindestens einen Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode vorgesehen.

In einer bevorzugten Anwendung der erfindungsgemässen Vorrichtung sind die Kathode ein Wafer oder ein Chipträgersubstrat und die Anode eine metallische Platte. In diesem Falle wird in dem elektrolytischen Prozess auf dem Wafer oder dem Chipträgersubstrat vorzugsweise Metall abgeschieden.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung umfasst insbesondere mindestens eine erste Bezugselektrode, die an der Oberfläche der mindestens einen Anode angeordnet ist, sowie mindestens eine zweite Bezugselektrode, die an der Oberfläche der mindestens einen Kathode angeordnet ist. Ferner sind Spannungsmessgeräte zur Ermittlung der elektrischen Spannungen zwischen der

mindestens einen Anode und der mindestens einen ersten Bezugselektrode, zwischen der mindestens einen ersten und der mindestens einen zweiten Bezugselektrode sowie zwischen der mindestens einen zweiten Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode vorgesehen. Mit dieser Überwachungsvorrichtung können die elektrischen Spannungen zwischen der Anode und der ersten Bezugselektrode, zwischen der ersten Bezugselektrode und der zweiten Bezugselektrode sowie zwischen der zweiten Bezugselektrode und der Kathode gemessen werden.

10 Auf Grund umfangreicher Untersuchungen hat sich herausgestellt, dass die Hohlräume in den abgeschiedenen Metallschichten darauf zurückzuführen sind, dass die angewendeten Metallabscheidebäder unter bestimmten Bedingungen Metall von den Startschichten abtragen können:

15 Beim Eintauchen eines mit einer Metall-Startschicht versehenen Wafers in die Metallabscheidelösung wird nämlich zunächst noch keine externe Spannung an die Startschicht angelegt. Daher stellt sich ein Gleichgewichtspotential an der Phasengrenze zwischen Startschicht und Elektrolytlösung ein, sobald diese in Kontakt treten. Unter den üblicherweise angewendeten Bedingungen zur Abscheidung von Metall, insbesondere Kupfer, auf der Startschicht stellt sich ein relativ zur Metallauflösung positives Potential der Startschicht ein, so dass sich diese in der Abscheidelösung langsam auflöst.

25 Metall-Startschichten, die auf Wafern eingesetzt werden, sind aus Prozess- und Kostengründen im allgemeinen sehr dünn. Beispielsweise sind die Startschichten in typischen Strukturen (trenches, vias; beispielsweise 0,1 - 0,2  $\mu\text{m}$  Breite und etwa 1  $\mu\text{m}$  Tiefe), die für den Damaszenerprozess hergestellt werden, üblicherweise etwa 5 - 25 nm dick. Auf den Oberflächen der Wafer beträgt die Dicke der Startschichten dagegen etwa 100 nm. Derartige Schichten können während des Eintauchens in die Elektrolytlösung zumindest im Inneren der Strukturen schnell abgetragen werden, da die Ätzrate in den verwendeten Elektrolytlösungen relativ hoch ist. Beispielsweise beträgt die Ätzrate in einem typi-

schen Kupferelektrolyten, der etwa 180 g/l Schwefelsäure und 40 g/l Kupfer als Kupfersulfat enthält, unter üblichen Elektrolysebedingungen etwa 10 nm/min. Unter diesen Bedingungen kann die vor Beginn der Metallabscheidung noch verbleibende Schichtdicke unter Umständen nicht mehr gross genug sein, um eine verlässliche Beschichtung mit Metall zu gewährleisten. Die Ätzrate hängt unter anderem von der Art der verwendeten Elektrolytlösung, den gewählten Verfahrensbedingungen bei der Abscheidung sowie der Art der Startschicht ab.

Dieses Problem kann auch nicht dadurch behoben werden, dass die Zeitspanne vom Eintauchen bis zum Starten des Abscheidvorganges verkürzt wird, da nach dem Eintauchen eine gewisse Mindestprozesszeit eingehalten werden muss, beispielsweise um den zu beschichtenden Wafer vollständig mit Flüssigkeit zu benetzen, bevor die Metallabscheidung gestartet wird. Somit steht nur ein enges Prozessfenster zur Verfügung, um Metall auf der Startschicht elektrolytisch abscheiden zu können. Besonders problematisch ist, dass die Grösse des Prozessfensters wegen der Vielzahl der möglichen Einflussgrössen nicht bestimmbar ist, so dass das Ergebnis bei der Metallisierung nur dem Zufall überlassen ist.

Gegenüber Schwankungen des Abscheidprozesses und gegenüber Korrosionserscheinungen ist die dünne Metall-Startschicht besonders empfindlich. Schon eine geringe Reduktion der Schichtdicke dieser Schicht kann dazu führen, dass der Prozess beispielsweise in den Nanostrukturen nicht mehr mit ausreichender Sicherheit gestartet werden kann.

Eine exakte Kontrolle des Eintauch- und Benetzungsvorganges ist deshalb von grosser Bedeutung. Technisch ist eine derartige Kontrolle jedoch nicht ohne weiteres möglich, da vor dem Eintauchen kein elektrischer Kontakt zwischen Elektrolytflüssigkeit und Wafer besteht und sich nach dem Eintauchen ein elektrolytabhängiges Gleichgewichtspotential einstellt. Dabei kann - je nach Elektrolytzusammensetzung - Korrosion der Startschicht in mehr oder minder starkem, nicht vorhersehbarem Umfange auftreten.



Es hat sich herausgestellt, dass die Parameter, die den Metallabtrag beeinflussen, insbesondere die Teilspannungen sind, die summiert die zwischen Anode und Kathode angelegte elektrische Gesamtspannung (Klemmspannung) ergeben:

Zwischen Anode und Kathode fließt bei der galvanischen Metallabscheidung ein Strom. Zur Erzeugung dieses Stromes ist eine elektrische Spannung erforderlich, die sich aus der Summe der genannten Teilspannungen zusammensetzt. Die Gesamtspannung ergibt sich insbesondere aus der Summe von anodischer und kathodischer Durchtrittsüberspannung, der Polarisationsüberspannungen und den Kristallisationsüberspannungen, ferner Konzentrationsüberspannungen und des Spannungsabfalles auf Grund des Elektrolytwiderstandes sowie der Spannungsabfälle in den elektrischen Zuleitungen.

Die Aufteilung der messbaren Klemmspannung auf die Einzelspannungen ist in der Regel allerdings nicht bekannt. Insbesondere sind Änderungen der Aufteilung nicht erfassbar, da nur die Klemmspannung des Stromgebers, beispielsweise des Gleichrichters, bekannt ist. Ändert sich während der Abscheidung einer der genannten Widerstände oder eine der genannten Überspannungen oder schwanken diese zwischen verschiedenen zu bearbeitenden Wafern, so kann die resultierende messbare Änderung der Klemmspannung im besten Falle nicht zugeordnet werden. Im ungünstigsten Falle wird diese Änderung noch nicht einmal entdeckt, so dass Metall gegebenenfalls abgetragen wird, ohne dass dies festgestellt werden kann.

Da die Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit der Verfahren in der Halbleitertechnologie von höchster Bedeutung sind, mussten Mittel zur Erfassung der Teilspannungen gefunden werden. Treten Abweichungen während des Prozesses auf, so müssen diese zugeordnet und identifiziert werden, um prozessregeltechnisch eingreifen und korrigieren zu können.

Um zumindest Änderungen im Spannungsabfall zu detektieren, die auf den elektrischen Widerstand des Elektrolyten zurückzuführen sind, werden Bezugselektroden eingesetzt, die unmittelbar an der Oberfläche der Anode oder der Kathode angeordnet werden. Die Bezugselektroden sind hierzu so dicht an die Oberflächen heranzuführen, dass das Potential unmittelbar an der jeweiligen Oberfläche ermittelt werden kann. Beispielsweise können die Bezugselektroden bis auf weniger als 1 mm, beispielsweise 0,2 mm, an die jeweilige Oberfläche angenähert werden. Insbesondere ist es auch möglich, die Bezugselektroden etwa in der Ebene der Oberfläche der Anode oder der Kathode neben der Oberfläche, allerdings in unmittelbarer Nähe zu dieser Oberfläche anzuordnen, nicht jedoch direkt vor der Oberfläche. Dabei ist nicht erforderlich, dass die Bezugselektroden selbst bis an die Oberflächen herangeführt werden. Vielmehr besteht auch die Möglichkeit, ein einen Leitelektrolyten enthaltendes Gefäß an der jeweiligen Oberfläche bzw. in dessen Nähe zu platzieren, über das das Potential an der Oberfläche detektiert werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden zwei Bezugselektroden vorgesehen: Die erste der beiden Bezugselektroden wird an der Oberfläche der Anode und die zweite Bezugselektrode an der Oberfläche der Kathode angeordnet. Da die beiden Bezugselektroden in unmittelbarer Nähe zu den jeweiligen Elektroden angeordnet werden, kann der Einfluss des auf den elektrischen Widerstand des Elektrolyten zurückzuführenden Spannungsabfall separat als elektrische Spannung zwischen den beiden Bezugselektroden erfasst werden. Die weiteren Spannungsabfälle, die jeweils zwischen den Bezugselektroden und der Anode bzw. der Kathode gemessen werden, an deren Oberflächen diese Elektroden angeordnet sind, umfassen die in der Nähe der Anoden- bzw. Kathodenoberfläche auftretenden Spannungsabfälle und insbesondere die Durchtritts-, die Kristallisations- und die Konzentrationsüberspannungen.

Indem somit die einzelnen Spannungsabfälle in unterschiedlichen Regionen der elektrolytischen Zelle ermittelt werden können, kann der Einfluss der zuvor

genannten Faktoren (beispielsweise die Art der Elektrolytlösung, die Eigenschaften der Startschicht und andere) separat erfasst und somit analysiert werden. Änderungen, die auf die genannten Einflussgrößen zurückgehen, werden somit erkennbar, so dass im Falle derartiger Änderungen geeignete Massnahmen zur Abhilfe getroffen werden können.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass bestehende Galvanisieranlagen mit den erfindungsgemässen Mitteln ohne weiteres auch nachträglich noch ausgerüstet werden können, da keine wesentlichen konstruktiven Erweiterungen erforderlich sind.

Für die Messung der genannten Änderungen können beliebige Bezugselektroden eingesetzt werden. Stabile Bezugselektroden enthalten insbesondere ein Metall im Gleichgewicht mit einem schwerlöslichen Salz dieses Metalls sowie einen Elektrolyten. Derartige Referenzelektroden sind beispielsweise Elektroden zweiter oder dritter Ordnung, da diese Elektroden ein konstantes Bezugspotential liefern. Bezugselektroden zweiter Ordnung sind solche Referenzelektroden, in denen die Konzentration der potentialbestimmenden Ionen durch die Anwesenheit einer schwerlöslichen gleichionischen Verbindung festgelegt ist. Bezugselektroden dritter Ordnung sind dagegen Referenzelektroden, in denen die Aktivität der potentialbestimmenden Ionen durch die Anwesenheit zweier fester Phasen festgelegt ist. Als Bezugselektroden zweiter Ordnung werden insbesondere die Kalomelektrode, die Silber/Silberchlorid-Elektrode, die Quecksilbersulfatelektrode und die Quecksilberoxidelektrode eingesetzt. Als Bezugselektrode dritter Ordnung kommt beispielsweise ein Zinkstab in Betracht, der mit einer Lösung von Calciumionen bei Gegenwart eines Bodenkörpers aus Zink- und Calciumoxalat im Gleichgewicht steht.

Eine Bezugselektrode wird in der Nähe der Anode angebracht und eine Bezugselektrode in der Nähe des Wafers. Eine Prozesskontrolle wird dadurch erreicht, dass während des galvanischen Prozesses die Spannung zwischen der Anode und der ersten Bezugselektrode, zwischen der ersten Bezugselek-

trode und der zweiten Bezugselektrode und zwischen der zweiten Bezugselektrode und der Kathode gemessen wird.

5 Für die gemessene Spannung zwischen der ersten Bezugselektrode und der zweiten Bezugselektrode sind Änderungen des Elektrolytwiderstandes verantwortlich, die auf eine schwankende Zusammensetzung des Elektrolyten oder auf einen unregelmässigen Flüssigkeitsstrom innerhalb des Behandlungsbehälters hinweisen.

10 Änderungen der gemessenen Spannung zwischen der ersten Bezugselektrode und der Anode deuten zusätzlich auf instabile Anodenprozesse hin. Dies kann im Falle einer löslichen Anode durch einen Verbrauch der Anode, durch einen sich ändernden Anodenfilm oder auch durch eine variierende Anodengeometrie verursacht sein. Im Falle einer inerten (unlöslichen) Anode kann eine derartige  
15 Änderung der gemessenen Spannung auch auf ein Versagen dieser Anode (beispielsweise auf ein Ablösen der aktiven Anodenschicht) oder auf eine mangelnde Versorgung der Anode mit Redoxspezies, beispielsweise Fe(II)- und Fe(III)-Verbindungen, hindeuten, etwa wie im Falle des in DE 100 15 146 C1 beschriebenen Verfahrens.

20 Änderungen der gemessenen Spannung zwischen der zweiten Bezugselektrode und der Kathode zeigen instabile Kathodenprozesse an, beispielsweise eine geänderte Dicke der Startschicht, etwa weil diese Schicht durch die Metallabscheidelösung angegriffen wird oder weil die Schicht von vorn herein keine  
25 ausreichende Schichtdicke aufgewiesen hat.

Zur Prozesssteuerung, insbesondere um die Korrosion der Startschicht zu verhindern, kann eine Spannungsdifferenz zwischen der Startschicht und der nächstgelegenen Bezugselektrode, etwa der zweiten Bezugselektrode, bereits  
30 im nicht eingetauchten Zustand durch einen Netzgleichrichter aufgeprägt werden. Durch geeignete Wahl des Potentials der Startschicht wird deren Korrosion beim Eintauchen und gegebenenfalls in der Benetzungsphase unterbun-

den. Um ein aussagekräftiges Messergebnis erhalten zu können, muss die jeweilige Bezugselektrode möglichst nahe an die zugeordnete Elektrode herangebracht werden. Dabei muss jedoch auch verhindert werden, dass das Werkstück (beispielsweise die Kathode) und die Gegenelektrode (beispielsweise die Anode) nicht abgeschirmt werden, um eine möglichst gleichmässige Verteilung des abgeschiedenen Metalls zu erreichen.

Da stabile Bezugselektroden insbesondere ein Metall im Gleichgewicht mit einem schwerlöslichen Salz dieses Metalls sowie einen Elektrolyten enthalten, besteht die Gefahr der Kontamination des Elektrolyten des elektrolytischen Prozesses durch den Elektrolyten der Bezugselektrode. Eine derartige Verunreinigung ist unter allen Umständen zu vermeiden. Um auch dieses Problem zu lösen, stehen die Bezugselektroden mit der Oberfläche der Anode bzw. der Kathode über jeweils mindestens eine Kapillare in Kontakt. Indem die Spannungen zwischen den Bezugselektroden untereinander und jeweils zur Anode und zur Kathode hochohmig gemessen werden, fliesst durch die Messanordnung nur ein äusserst kleiner Strom. Daher kann die Kapillare auch sehr dünn sein, so dass eine Verunreinigung des Elektrolyten des elektrolytischen Prozesses durch die Elektrolyten der Bezugselektroden minimiert wird.

Eine weitere Optimierung hinsichtlich dieses Problems wird dadurch erreicht, dass Elektrolytflüssigkeit des elektrolytischen Prozesses durch die Kapillaren zu der jeweiligen Bezugselektrode gefördert wird. Dadurch wird verhindert, dass der Elektrolyt der Bezugselektrode durch Diffusion in den Abscheideelektrolyten gelangen kann.

Zur elektrolytischen Abscheidung von Metall, insbesondere von Kupfer, auf einem Halbleitersubstrat können übliche Galvanisiereinrichtungen, beispielsweise aus Platin, eingesetzt werden, in denen die Anode und das Halbleitersubstrat parallel zueinander und waagrecht oder zur Horizontalen gekippt ausgerichtet sind. Die Anode und das Halbleitersubstrat können auch vertikal ausgerichtet sein. Beide Elektroden befinden sich in einem in geeigneter Weise

ausgebildeten Behälter, beispielsweise einem zylinderförmigen Behälter, in dem die Elektrolytflüssigkeit sowie die Elektroden enthalten sind. Die Anode wird üblicherweise am Boden des zylinderförmigen Gefäßes angeordnet und das Halbleitersubstrat im oberen Bereich. Zur Erzeugung einer definierten Flüssigkeitsströmung kann die Elektrolytflüssigkeit den Behälter in bestimmter Weise durchströmen. Die Bezugselektroden können in separaten Gefäßen untergebracht sein, die über die genannten Kapillaren mit dem Behälter in Kontakt stehen. Die Kapillaren sind derart in der Behälterwand angeordnet, dass sie in unmittelbarer Nähe zu den jeweiligen Elektroden liegen.

Zur näheren Erläuterung der Erfindung wird auf die nachfolgenden Figuren Bezug genommen. Es zeigen im einzelnen:

**Fig. 1:** einen schematischen Querschnitt durch eine Struktur (trench, via) in einem Dielektrikum auf einem Halbleitersubstrat;

**Fig. 2:** eine schematische Darstellung der Potentialverläufe in einer Anoden/Kathoden-Anordnung mit jeweils einer Bezugselektrode in der Nähe der Anode und der Kathode;

**Fig. 3:** eine schematische Darstellung einer Abscheidungszone im Schnitt.

In **Fig. 1** ist die Schichtdickenverteilung der Startschicht **2** in der Nähe und innerhalb einer Struktur **4** in einer Dielektrikumsschicht **3** auf einem Halbleitersubstrat dargestellt. Im vorliegenden Fall weist die Struktur **4** eine Breite von  $0,2\ \mu\text{m}$  und eine Tiefe von etwa  $1\ \mu\text{m}$  auf. Die Schichtdicke der Startschicht **2** beträgt an der Oberfläche des Substrats etwa  $100\ \text{nm}$ . Am Boden der Struktur **4** ist die Startschicht **2** allerdings wesentlich dünner. Deren Dicke beträgt dort lediglich  $5 - 25\ \text{nm}$ . In diesem unteren Bereich besteht beim Eintauchen und nachfolgenden Benetzen der Startschicht **2** mit einem Metallabscheideelektrolyten die Gefahr, dass die Schicht **2** so weit abgetragen wird, dass am Boden der Struktur **4** kein Metall mehr oder nur noch eine sehr dünne Metallschicht

zurückbleibt. Daher kann an dieser Stelle beim nachfolgenden elektrolytischen Metallisieren kein Metall abgeschieden werden.

In **Fig. 2** ist der Potentialverlauf im Elektrolytraum zwischen der Anode **5** und der Kathode **1** schematisch dargestellt. Zwischen Anode **5** und Kathode **1** fließt Strom, der von einer Stromversorgung **6** geliefert wird. Die Stromversorgung **6** kann beispielsweise ein Netzgleichrichter sein. Die Spannung **U**, die von der Stromversorgung **6** geliefert wird, wird mit einem Spannungsmessgerät **7** gemessen. Die Spannung **U** wird auch als Klemmspannung bezeichnet.

In der Nähe der Anode **5** ist eine erste Bezugselektrode **8** angeordnet. Gleichermassen ist eine zweite Bezugselektrode **9** in der Nähe der Kathode **1** angeordnet.

Der Potentialverlauf im Elektrolytraum zwischen der Anode **5** und der Kathode **1** ist mit der Bezugsziffer **10** bezeichnet. Der Potentialverlauf **10** ist aus Vereinfachungsgründen lediglich in drei Teilbereiche **11**, **12** und **13** aufgeteilt, von denen die Bereiche **11** und **13** durch die Diffusions- und Kristallisationsüberspannung und der Bereich **12** durch den Spannungsabfall verursacht werden, der durch den elektrischen Widerstand des Elektrolyten entsteht.

Die genannten Spannungsabfälle können in einfacher Weise durch Messung der elektrischen Spannungen zwischen der Anode **5** und der ersten Bezugselektrode **8** mit dem ersten Spannungsmessgerät **14**, zwischen der ersten Bezugselektrode **8** und der zweiten Bezugselektrode **9** mit dem zweiten Spannungsmessgerät **15** und zwischen der zweiten Bezugselektrode **9** und der Kathode **1** mit dem dritten Spannungsmessgerät **16** gemessen werden. Die Summe der mit den Spannungsmessgeräten **14**, **15** und **16** ermittelten Teilspannungen **11,12,13** ergibt die Klemmspannung **U**.

Der Spannungsabfall **11** wird mit dem Spannungsmessgerät **14** ermittelt, der Spannungsabfall **12** mit dem Spannungsmessgerät **15** und der Spannungsabfall **13** mit dem Spannungsmessgerät **16**.

5 In **Fig. 3** ist eine Einrichtung zur elektrolytischen Abscheidung von Metall auf einem Halbleitersubstrat **1** schematisch dargestellt. Die Einrichtung weist einen Behälter **20** sowie eine Anode **5** am Boden des Behälters **20** und ein Halbleitersubstrat **1** als Kathode im oberen Bereich des Behälters **20** auf. Der Behälter **20** ist mit Elektrolytflüssigkeit **22** bis zum Niveau **21** angefüllt.

10

10 In der Nähe der Anode **5** sind eine erste Kapillare **23** und in der Nähe des Halbleitersubstrats **1** eine zweite Kapillare **24** in die Wand des Behälters **20** eingelassen. Durch diese Kapillaren **23,24** kann Elektrolytflüssigkeit mit einem geringen Volumenstrom in die seitlich angebrachten Bezugselektrodenbehälter **25** und **26** abfließen. Dadurch wird verhindert, dass evtl. in diesen Behältern **25,26** enthaltene Elektrolytflüssigkeit, die eine andere Zusammensetzung als die Abscheideflüssigkeit **22** aufweist, in den Behälter **20** gelangt. In den Behältern **25,26** befinden sich eine erste Bezugselektrode **8** und eine zweite Bezugselektrode **9**, die über elektrische Leitungen mit hier nicht dargestellten Spannungsmessgeräten verbunden sind.

15

20



**Bezugszeichenliste:**

	<b>1</b>	Halbleitersubstrat (Kathode)
	<b>2</b>	Startschicht (Seedlayer, Platingbase)
<b>5</b>	<b>3</b>	Dielektrikumsschicht
	<b>4</b>	Struktur in der Dielektrikumsschicht <b>3</b>
	<b>5</b>	Anode
	<b>6</b>	Stromversorgung (Spannungsquelle)
	<b>7</b>	Spannungsmessgerät für die Klemmspannung <b>U</b>
<b>10</b>	<b>8</b>	erste Bezugselektrode
	<b>9</b>	zweite Bezugselektrode
	<b>10</b>	Potentialverlauf
	<b>11</b>	Spannungsabfall an der Anode <b>5</b>
	<b>12</b>	Spannungsabfall im Elektrolyt <b>22</b>
<b>15</b>	<b>13</b>	Spannungsabfall an der Kathode <b>1</b>
	<b>14,15,16</b>	Spannungsmessgeräte
	<b>20</b>	Behälter
	<b>21</b>	Flüssigkeitsniveau
	<b>22</b>	Elektrolytflüssigkeit
<b>20</b>	<b>23,24</b>	Kapillaren
	<b>25,26</b>	Bezugselektrodenbehälter
	<b>27</b>	elektrische Leitungen
	<b>U</b>	Klemmspannung

## Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses, umfassend mindestens eine Anode und mindestens eine Kathode, wobei mindestens eine Bezugselektrode an der Oberfläche der mindestens einen Anode oder mindestens einer Kathode angeordnet ist, wobei jeweils ein Spannungsmessgerät zur Ermittlung der elektrischen Spannungen zwischen der mindestens einen Anode und der mindestens einen Bezugselektrode und zwischen der mindestens einen Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode vorgesehen ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine erste Bezugselektrode an der Oberfläche der mindestens einen Anode und mindestens eine zweite Bezugselektrode an der Oberfläche der mindestens einen Kathode angeordnet ist und dass jeweils ein Spannungsmessgerät zur Ermittlung der elektrischen Spannungen zwischen der mindestens einen Anode und der mindestens einen ersten Bezugselektrode, zwischen der mindestens einen ersten und der mindestens einen zweiten Bezugselektrode sowie zwischen der mindestens einen zweiten Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode vorgesehen ist.

3. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Bezugselektrode über Kapillaren mit der Oberfläche der mindestens einen Anode oder der mindestens einen Kathode in Kontakt steht.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass Mittel vorgesehen sind, mit denen Elektrolytflüssigkeit durch die Kapillaren zu der mindestens einen Bezugselektrode förderbar ist.

5. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Anode und die mindestens eine Kathode parallel zueinander und waagrecht oder zur Horizontalen gekippt ausgerichtet sind.

5

6. Vorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kathode ein Wafer oder ein Chipträgersubstrat und die Anode eine metallische Platte ist.

10

7. Verfahren zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses, bei dem zwischen mindestens einer Anode und mindestens einer Kathode ein elektrischer Stromfluss erzeugt wird und bei dem mindestens eine Bezugselektrode an der mindestens einen Anode oder der mindestens einen Kathode angeordnet wird, wobei die jeweilige elektrische Spannung zwischen der mindestens einen Anode und der mindestens einen Bezugselektrode und zwischen der mindestens einen Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode ermittelt wird.

15

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeweils die elektrische Spannung zwischen der mindestens einen Anode und mindestens einer ersten, an der Oberfläche der mindestens einen Anode angeordneten Bezugselektrode, zwischen der mindestens einen ersten Bezugselektrode und mindestens einer zweiten, an der Oberfläche der mindestens einen Kathode angeordneten Bezugselektrode sowie zwischen der mindestens einen zweiten Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode ermittelt wird.

20

25



9. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 und 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Bezugselektrode über Kapillaren mit der Oberfläche der mindestens einen Anode oder mindestens einen Kathode in Kontakt gebracht wird.

30

10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass Elektrolytflüssigkeit durch die Kapillaren zu der mindestens einen Bezugselektrode gefördert wird.

5 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 - 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Anode und die mindestens eine Kathode parallel zueinander und waagrecht oder zur Horizontalen gekippt ausgerichtet werden.

10 12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 - 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Kathode ein Wafer oder ein Chipträgersubstrat und als Anode eine metallische Platte eingesetzt werden und auf dem Wafer Metall elektrolytisch abgeschieden wird.



## **Vorrichtung und Verfahren zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses**

Zusammenfassung:

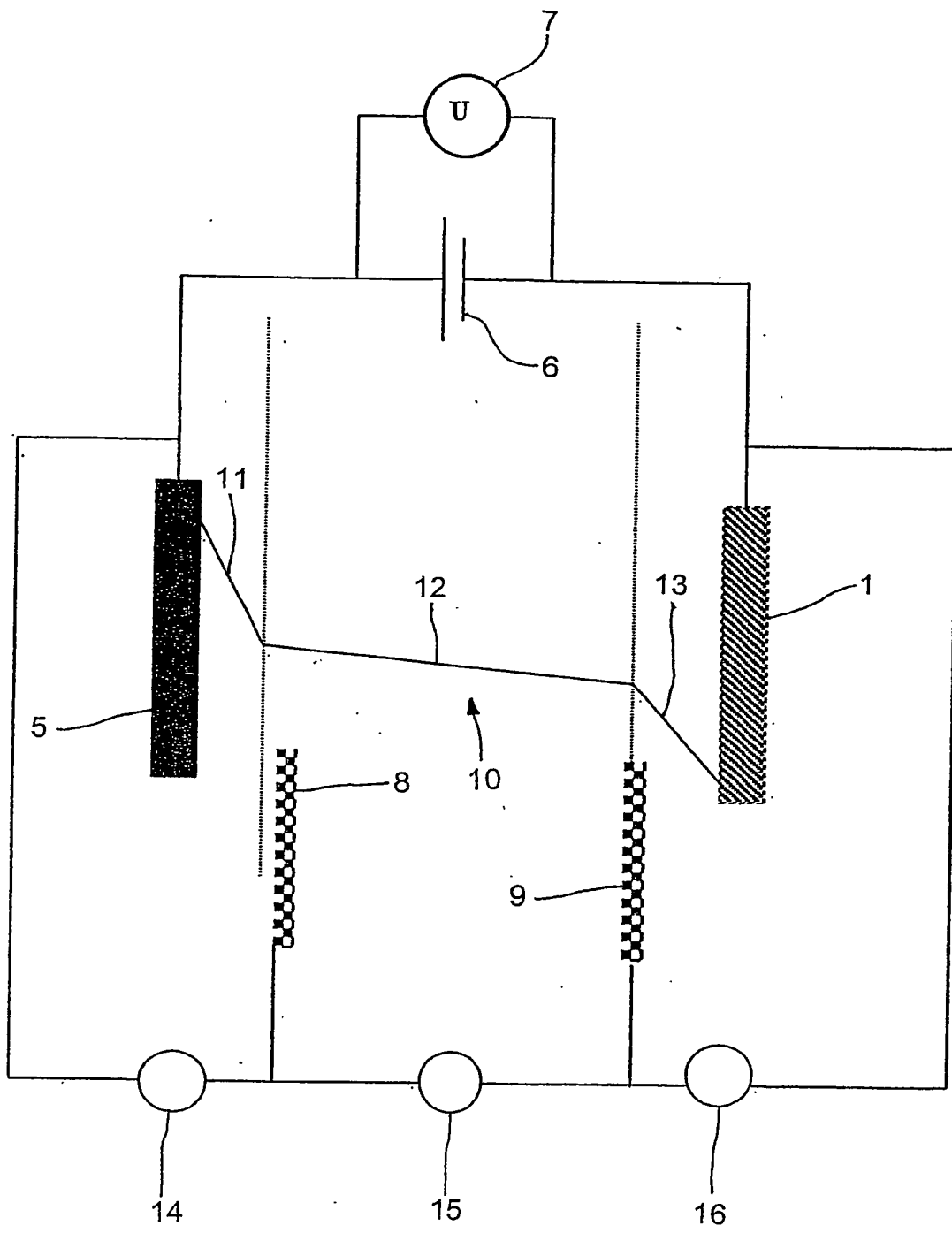
5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Überwachung eines elektrolytischen Prozesses. Bei der Herstellung von integrierten Schaltungen besteht das Problem, daß sich bei der elektrolytischen Metallabscheidung leicht Hohlräume bilden können. Um diese die Funktionsfähigkeit der Schaltungen beeinträchtigenden Fehler zu vermeiden wird vorgeschlagen, in der mindestens eine Anode und mindestens eine Kathode enthaltenden Elektrolysevorrichtung mindestens eine Bezugselektrode an der Oberfläche der mindestens einen Anode oder mindestens einen Kathode anzuordnen, wobei jeweils ein Spannungsmessgerät zur Ermittlung der elektrischen Spannungen zwischen der mindestens einen Anode und der mindestens einen Bezugselektrode und zwischen der mindestens einen Bezugselektrode und der mindestens einen Kathode vorgesehen ist.

10

15

(Fig. 2)



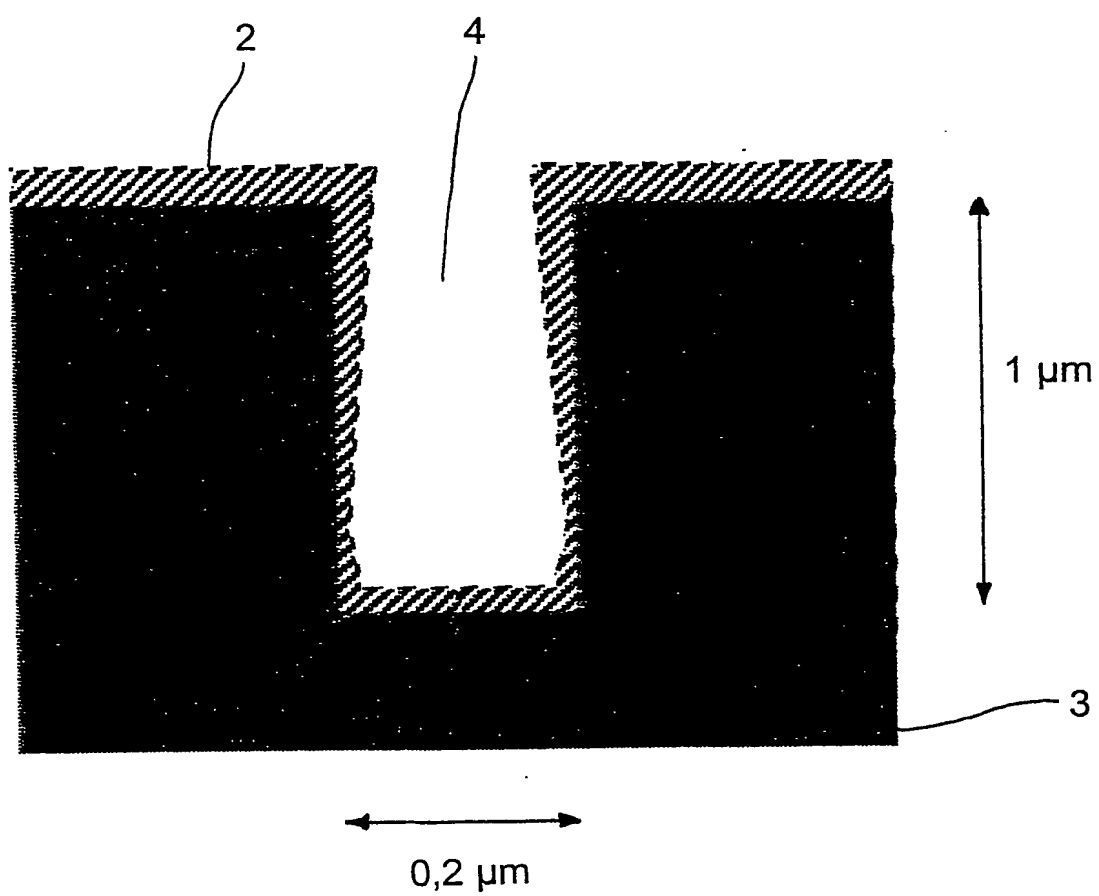


Fig. 1





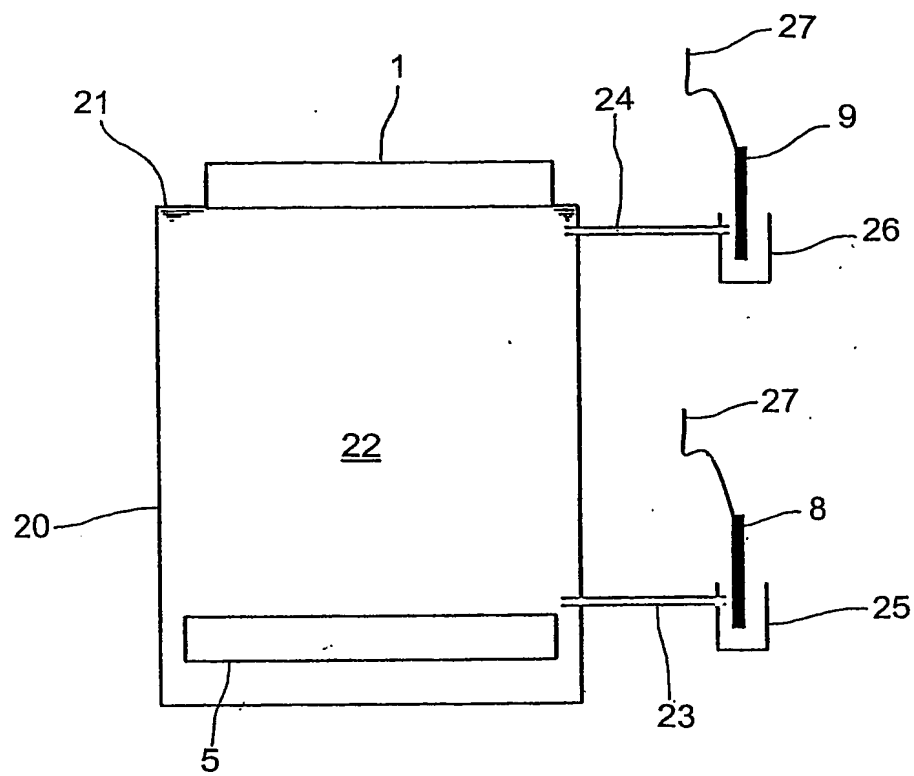


Fig. 3